



Docket No.: 56937-107

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of : Customer Number: 20277
Sadami TAKEOKA, et al. : Confirmation Number: 7583
Serial No.: 10/765,276 : Group Art Unit: Not yet assigned
Filed: January 28, 2004 : Examiner: Not yet assigned

For: **METHODS FOR EVALUATING QUALITY OF DELAY TESTS AND
RELATED TECHNOLOGY**

TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT

Mail Stop Missing Parts
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

At the time the above application was filed, priority was claimed based on the following application:

Japanese Patent Application No. 2003-018428, filed January 28, 2003.

A copy of the priority application listed above is enclosed.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT WILL & EMERY LLP

Ramyar M. Farid
Registration No. 46,692

600 13th Street, N.W.
Washington, DC 20005-3096
202.756.8000 RMF:etp
Facsimile: 202.756.8087
Date: August 11, 2004

日本国特許庁

JAPAN PATENT OFFICE

101745276

1-28-04

TAKEOKA et al.

McDermott Will & Emery LLP

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office.

出願年月日 Date of Application: 2003年 1月28日

出願番号 Application Number: 特願2003-018428

[ST. 10/C]: [JP2003-018428]

出願人 Applicant(s): 松下電器産業株式会社

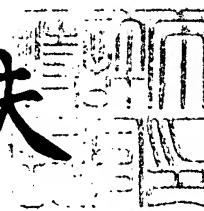
CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

BEST AVAILABLE COPY

2004年 2月 3日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



出証番号 出証特2004-3005586

【書類名】 特許願

【整理番号】 5037540132

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G01R 31/28

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式
会社内

【氏名】 竹岡 貞巳

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式
会社内

【氏名】 太田 光保

【特許出願人】

【識別番号】 000005821

【氏名又は名称】 松下電器産業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100086737

【弁理士】

【氏名又は名称】 岡田 和秀

【電話番号】 06-6376-0857

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 007401

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9305280

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 遅延故障検査系列の品質評価方法、遅延故障検査系列生成方法
、遅延故障シミュレーション方法および故障検査方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 定義された遅延故障のうち設計上の所定の遅延値以下の遅延値をもつ遅延故障を故障検査の対象外として除外し、残った対象内の遅延故障数に対する遅延故障検査系列が検出できた遅延故障数の比を故障検出率として、遅延故障検査系列の品質を評価することを特徴とする遅延故障検査系列の品質評価方法。

【請求項 2】 定義された遅延故障のそれぞれについて重み付けを行い、その遅延故障の重みの総和に対する遅延故障検査系列が検出できた遅延故障の重みの総和の比を故障検出率として、遅延故障検査系列の品質を評価することを特徴とする遅延故障検査系列の品質評価方法。

【請求項 3】 前記重みとして、前記遅延故障が定義された信号経路の設計上の遅延値を用いることを特徴とする請求項 2 に記載の遅延故障検査系列の品質評価方法。

【請求項 4】 前記重みとして、前記遅延故障が定義された信号経路のゲート段数を用いることを特徴とする請求項 2 に記載の遅延故障検査系列の品質評価方法。

【請求項 5】 前記重みとして、前記遅延故障が定義された信号経路の設計上の遅延値と前記遅延故障が定義された信号経路の物理的な経路長との積を用いることを特徴とする請求項 2 に記載の遅延故障検査系列の品質評価方法。

【請求項 6】 前記重みとして、前記遅延故障が定義された信号経路の設計上の遅延値と前記遅延故障が定義された信号経路の経路上の物理的な配線面積との積を用いることを特徴とする請求項 2 に記載の遅延故障検査系列の品質評価方法。

【請求項 7】 前記重みとして、前記遅延故障が定義された信号経路の設計上の遅延値と前記遅延故障が定義された信号経路の経路上の物理的な配線面積に素子面積を加算した結果との積を用いることを特徴とする請求項 2 に記載の遅延故

障検査系列の品質評価方法。

【請求項8】 前記重みとして、さらに欠陥密度を乗ずることを特徴とする請求項4から請求項7までのいずれかに記載の遅延故障検査系列の品質評価方法。

【請求項9】 生成した遅延故障検査系列に対して、請求項1または請求項2の遅延故障検査系列の品質評価方法を用いて故障検出率の算出を行うことを特徴とする遅延故障検査系列生成方法。

【請求項10】 与えられた遅延故障検査系列に対して、請求項1または請求項2の遅延故障検査系列の品質評価方法を用いて、故障検出率の算出を行うことを特徴とする遅延故障シミュレーション方法。

【請求項11】 半導体集積回路の検査工程において、検査に使用する遅延故障検査系列に対して、請求項1または請求項2の遅延故障検査系列の品質評価方法を用いて、故障検出率の算出を行うことを特徴とする故障検査方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体集積回路の遅延故障検査を行う際に使用する検査系列の故障検査能力を表す品質の評価技術に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

近年の半導体プロセスの微細化技術の急速な進歩によって、半導体集積回路の大規模化、複雑化が急激に進み、これに伴って半導体集積回路の検査が一層困難になっている。この問題に対処するため、半導体集積回路の検査を容易化する手段としてスキャン方式などによる検査容易化設計手法が普及し、縮退故障モデルで表される故障については、これを効率的に検査できるようになった。縮退故障モデルで仮定された故障を検出する場合、故障検出の能力はクロック周波数に依存しないため、従来、スキャンテストを実施する際には、一般的に実動作速度よりも低いクロック周波数を使って行われてきた。

【0003】

しかし、半導体プロセスの微細化の進歩に伴ってプロセスのばらつきが顕在化

し、従来のスキャン方式を使った低いクロック周波数による検査だけでは十分に検査品質を保証することができなくなり、実動作時と同じクロック周波数を使った遅延故障検査技術のような、遅延を考慮した検査が必要とされるようになった。

【0004】

【特許文献1】

特開平9-269959号公報

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

従来においては、遅延故障用の検査系列の品質を表す故障検出率を次のような計算式で算出していた。

【0006】

【数1】

$$\text{故障検出率} = \frac{\text{検出された遅延故障数}}{\text{定義された全故障数}} \times 100 [\%] \quad \cdots (1)$$

しかしながら、従来用いていた故障検出率では、どの遅延故障も重要度が等しいと見なされるため、式(1)の故障検出率は検査系列の実際の故障検査に対する品質を十分に反映できていない、という問題があった。この問題を図を用いて具体的に説明する。

【0007】

図12は、半導体集積回路上に定義した遅延故障の特性を示すための図である。信号経路 $b_1 \sim b_6$ の右側に示した矢印の長さは、それぞれ各信号経路の設計上の遅延値を示す。また、図の右側の点線は半導体集積回路の1クロックレートの値を表す。

【0008】

以下、図12を用いて従来の遅延故障検査系列の品質評価方法の問題点を説明する。

【0009】

一般に、信号経路の設計上の遅延値が大きいほど（1クロックレートに近いほど）、この信号経路が遅延故障を生じる可能性が大きい。したがって、図12において、信号経路b₃が信号経路b₆よりも遅延故障を生じる可能性が大きいことは明らかである。そのため、信号経路b₃に定義した遅延故障を検出する検査は、信号経路b₆に定義した遅延故障を検出する検査に比べて、検査の品質がより高いといえる。

【0010】

しかしながら、従来用いていた故障検出率では、信号経路b₃上の遅延故障を検出した場合も、信号経路b₆上の遅延故障を検出した場合も、同じく1個の遅延故障を検出したと扱われ、その品質は同等とみなされる。例えば、信号経路b₁～b₆上にそれぞれ1個ずつ遅延故障を定義したと仮定すると、信号経路b₁～b₃上の故障を検出した場合も、信号経路b₄～b₆上の故障を検出した場合も、故障検出率はいずれも等しく、(3/6) × 100 [%] = 50%となる。

【0011】

遅延値の大きな信号経路b₁～b₃上を故障検出する検査と、遅延値の小さな信号経路b₄～b₆を故障検出する検査とでは、前者の方が品質が高いのは明らかである。したがって、従来の検査で使用していた故障検出率の式（1）は、検査の品質を正しく反映しておらず、そのため検査に使用する検査系列の品質を誤って評価してしまっていた、という問題があった。

【0012】

本発明はこのような問題を解決するために、遅延故障用の検査系列の品質を評価する際に、遅延故障を定義した信号経路上の設計上の遅延値を考慮することによって、遅延故障検査系列の品質をより高精度に評価することのできる遅延故障検査系列の品質評価方法を提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】

上記の課題を解決するために、本発明は次のような手段を講じる。

【0014】

第1の解決手段として、本発明による遅延故障検査系列の品質評価方法は、定

義された遅延故障のうち設計上の所定の遅延値以下の遅延値をもつ遅延故障を故障検査の対象外として除外し、残った対象内の遅延故障数に対する遅延故障検査系列が検出できた遅延故障数の比を故障検出率として、遅延故障検査系列の品質を評価するものである。

【0015】

この構成による作用は次のとおりである。定義された遅延故障の重要度をすべてを等しくみなすのではなく、品質評価に対する影響の度合いが低い遅延故障を除外した上で故障検出率を算出し、遅延故障検査系列の品質評価を行うので、実際に故障を発生する可能性が大きい遅延故障の故障検出率への影響度合いを高め、遅延故障検査系列の品質評価の精度を向上させることができる。

【0016】

第2の解決手段として、本発明による遅延故障検査系列の品質評価方法は、定義された遅延故障のそれぞれについて重み付けを行い、その遅延故障の重みの総和に対する遅延故障検査系列が検出できた遅延故障の重みの総和の比を故障検出率として、遅延故障検査系列の品質を評価するものである。

【0017】

この構成による作用は次のとおりである。定義された遅延故障の重要度をすべてを等しくみなすのではなく、品質評価に対する影響の度合いの高低に応じて重み付けを行い、重みの総和を指標にした上で故障検出率を算出し、遅延故障検査系列の品質評価を行うので、実際に故障を発生する可能性が大きい遅延故障の故障検出率への影響度合いを高め、遅延故障検査系列の品質評価の精度を向上させることができる。

【0018】

上記において、前記の重みについてはいくつかの態様がある。

【0019】

1つは、前記重みとして、前記遅延故障が定義された信号経路の設計上の遅延値を用いるものがある。複数の遅延故障 $a_1 \sim a_n$ があり、それぞれの設計上の遅延値を $T_1 \sim T_n$ とする。遅延故障 $a_1 \sim a_n$ のうち遅延故障検査系列が検出できた遅延故障の設計上の遅延値を $t_1 \sim t_m$ とする ($m \leq n$)。遅延値 $T_1 \sim T_n$ の総和

を σ_T 、遅延値 $t_1 \sim t_m$ の総和を σ_t とするとき、故障検出率 η は、 $\eta = \sigma_t / \sigma_T$ である。

【0020】

【数2】

$$\sigma_T = \sum_{i=1}^n T_i \quad \cdots (2)$$

【0021】

【数3】

$$\sigma_t = \sum_{j=1}^m t_j \quad \cdots (3)$$

【0022】

【数4】

$$\eta = \frac{\sigma_t}{\sigma_T} = \frac{\sum_{j=1}^m t_j}{\sum_{i=1}^n T_i} \quad \cdots (4)$$

この場合、第1の解決手段のような品質評価に対する影響の度合いが低い遅延故障を除外することなく、定義されたすべての遅延故障の遅延値を故障検出率に反映するため、遅延故障検査系列の品質評価をさらに高精度なものにできる。

【0023】

また、前記遅延値 T_i , T_j の代わりに T_i , T_j がそれぞれ遅延故障 a_i , a_j のゲート段数としたものであってもよい。

【0024】

もう1つは、前記重みとして、前記遅延故障が定義された信号経路の設計上の遅延値と前記遅延故障が定義された信号経路の物理的な経路長との積を用いるものがある。複数の遅延故障 $a_1 \sim a_n$ それぞれの信号経路の物理的な経路長を Q_1

～ Q_n とする。遅延故障検査系列が検出できた遅延故障の信号経路の物理的な経路長を $q_1 \sim q_m$ とする ($m \leq n$)。遅延値 $T_1 \sim T_n$ の各々と経路長 $Q_1 \sim Q_n$ の各々の積は、 $T_1 \cdot Q_1 \sim T_n \cdot Q_n$ であるが、これら積の総和を σ_Q とする。遅延値 $t_1 \sim t_m$ の各々と経路長 $q_1 \sim q_m$ の各々の積は、 $t_1 \cdot q_1 \sim t_m \cdot q_m$ であるが、これら積の総和を σ_q とする。故障検出率 η は、 $\eta = \sigma_q / \sigma_Q$ である。

【0025】

【数5】

$$\sigma_Q = \sum_{i=1}^n (T_i \times Q_i) \quad \dots (5)$$

【0026】

【数6】

$$\sigma_q = \sum_{j=1}^m (t_j \times q_j) \quad \dots (6)$$

【0027】

【数7】

$$\eta = \frac{\sigma_q}{\sigma_Q} = \frac{\sum_{j=1}^m (t_j \times q_j)}{\sum_{i=1}^n (T_i \times Q_i)} \quad \dots (7)$$

この場合も、第1の解決手段のような品質評価に対する影響の度合いが低い遅延故障を除外することなく、定義されたすべての遅延故障の遅延値を故障検出率に反映するため、そしてさらに、遅延値と経路長との2要素を加味しているので、遅延故障検査系列の品質評価を一層高精度なものにできる。

【0028】

もう1つは、前記重みとして、前記遅延故障が定義された信号経路の設計上の遅延値と前記遅延故障が定義された信号経路の経路上の物理的な配線面積との積

を用いるものがある。複数の遅延故障 $a_1 \sim a_n$ それぞれの信号経路の物理的な配線面積を $H_1 \sim H_n$ とする。遅延故障検査系列が検出できた遅延故障の信号経路の物理的な配線面積を $h_1 \sim h_m$ とする ($m \leq n$)。遅延値 $T_1 \sim T_n$ の各々と配線面積 $H_1 \sim H_n$ の各々の積は、 $T_1 \cdot H_1 \sim T_n \cdot H_n$ であるが、これら積の総和を σ_H とする。遅延値 $t_1 \sim t_m$ の各々と配線面積 $h_1 \sim h_m$ の各々の積は、 $t_1 \cdot h_1 \sim t_m \cdot h_m$ であるが、これら積の総和を σ_h とする。故障検出率 η は、 $\eta = \sigma_h / \sigma_H$ である。

【0029】

【数8】

$$\sigma_H = \sum_{i=1}^n (T_i \times H_i) \quad \cdots (8)$$

【0030】

【数9】

$$\sigma_h = \sum_{j=1}^m (t_j \times h_j) \quad \cdots (9)$$

【0031】

【数10】

$$\eta = \frac{\sigma_h}{\sigma_H} = \frac{\sum_{j=1}^m (t_j \times h_j)}{\sum_{i=1}^n (T_i \times H_i)} \quad \cdots (10)$$

この場合も、第1の解決手段のような品質評価に対する影響の度合いが低い遅延故障を除外することなく、定義されたすべての遅延故障の遅延値を故障検出率に反映するため、そしてさらに、遅延値と配線面積との2要素を加味しているので、遅延故障検査系列の品質評価を一層高精度なものにできる。

【0032】

さらにもう1つは、前記重みとして、前記遅延故障が定義された信号経路の設計上の遅延値と前記遅延故障が定義された信号経路の経路上の物理的な配線面積に素子面積を加算した結果との積を用いるものがある。複数の遅延故障 $a_1 \sim a_n$ それぞれの信号経路の物理的な配線面積を $H_1 \sim H_n$ とし、それぞれの素子面積（ゲート面積）を $G_1 \sim G_n$ とする。遅延故障検査系列が検出できた遅延故障の信号経路の物理的な配線面積を $h_1 \sim h_m$ とし、それぞれの素子面積（ゲート面積）を $g_1 \sim g_m$ とする ($m \leq n$)。配線面積 $H_1 \sim H_n$ の各々とゲート面積 $G_1 \sim G_n$ の和に、遅延値 $T_1 \sim T_n$ の各々を乗算した結果の積は、 $T_1 \cdot (H_1 + G_1) \sim T_n \cdot (H_n + G_n)$ であるが、これら積の総和を σ_{HG} とする。配線面積 $h_1 \sim h_n$ の各々とゲート面積 $g_1 \sim g_m$ の和に、遅延値 $t_1 \sim t_m$ の各々を乗算した結果の積は、 $t_1 \cdot (h_1 + g_1) \sim t_m \cdot (h_m + g_m)$ であるが、これら積の総和を σ_{hg} とする。故障検出率 η は、 $\eta = \sigma_{hg} / \sigma_{HG}$ である。

【0033】

【数11】

$$\sigma_{HG} = \sum_{i=1}^n \left\{ T_i \times (H_i + G_i) \right\} \quad \cdots (11)$$

【0034】

【数12】

$$\sigma_{hg} = \sum_{j=1}^m \left\{ t_j \times (h_j + g_j) \right\} \quad \cdots (12)$$

【0035】

【数13】

$$\eta = \frac{\sigma_{hg}}{\sigma_{HG}} = \frac{\sum_{j=1}^m \left\{ t_j \times (h_j + g_j) \right\}}{\sum_{i=1}^n \left\{ T_i \times (H_i + G_i) \right\}} \quad \cdots (13)$$

この場合も、第1の解決手段のような品質評価に対する影響の度合いが低い遅延故障を除外することなく、定義されたすべての遅延故障の遅延値を故障検出率に反映するため、そしてさらに、配線面積および素子面積の和と遅延値との3要素を加味しているので、遅延故障検査系列の品質評価をさらに一層高精度なものにできる。

【0036】

なお、前記の重みとして、さらに欠陥密度を乗ずる場合もある。欠陥密度は、工場での歩留り解析などから統計的に算出されるものであり、通常は、各遅延故障に対して一定であるが、相互間の細かい差を加味すれば、遅延故障検査系列の品質評価をさらに一層高精度なものにできる。

【0037】

上記の遅延故障検査系列の品質評価方法に関連して、本発明による遅延故障検査系列生成方法は、生成した遅延故障検査系列に対して、上記いずれかの遅延故障検査系列の品質評価方法を用いて故障検出率の算出を行うものである。これによれば、従来技術に比べて、遅延故障検査系列の生成をより高精度に行うことができる。

【0038】

また、上記の遅延故障検査系列の品質評価方法に関連して、本発明による遅延故障シミュレーション方法は、与えられた遅延故障検査系列に対して、上記いずれかの遅延故障検査系列の品質評価方法を用いて、故障検出率の算出を行うものである。これによれば、従来技術に比べて、遅延故障シミュレーションをより高精度に行うことができる。

【0039】

また、上記の遅延故障検査系列の品質評価方法に関連して、本発明による故障検査方法は、半導体集積回路の検査工程において、検査に使用する遅延故障検査系列に対して、上記いずれかの遅延故障検査系列の品質評価方法を用いて、故障検出率の算出を行うものである。これによれば、従来技術に比べて、半導体集積回路の故障検査をより高精度に行うことができる。

【0040】

【発明の実施の形態】

一般に1つの信号経路上の遅延故障には、立上がり遷移の故障と立下り遷移の故障の2種類があり、遅延故障は信号経路と遷移の種類の組み合わせで表される。しかし、本明細書中では以後、説明の便宜上、遷移の種類は省略して1つの信号経路上には1つの遅延故障が定義されるものとして説明を行う。

【0041】

(第1の実施の形態)

本実施の形態は、遅延故障を検出する上で価値の小さい故障を遅延故障検査系列の品質の対象から除外することによって、遅延故障検査系列の品質評価の精度を向上させる具体的な実施方法についてのものである。

【0042】

まず最初に、遅延故障検査系列生成処理において生成された遅延故障検査系列に対する品質評価方法の実施例を説明する。

【0043】

図1は本発明の第1の実施の形態の遅延故障検査系列生成方法を示すフローチャートである。1は検査対象である論理回路データ、2は論理回路中に定義する遅延故障定義情報、3は遅延故障検査系列生成操作、4は論理回路の遅延故障を検査するための遅延故障検査系列、5は遅延故障検査系列生成操作の結果得られた故障検出率を示す。

【0044】

図3は遅延故障検査系列生成操作3の詳細を示すフローチャートである。31は所定の遅延値Dminの設定、32は全定義故障のうち、各遅延故障が定義された信号経路の設計上の遅延値が所定の遅延値Dminより小さいものを除外する操作、33は定義された各遅延故障に対して検査系列を生成する検査系列生成操作、34は検出された遅延故障数を集計する操作、35は故障検出率を以下の式で算出する操作を示す。

【0045】

【数14】

$$\text{故障検出率} = \frac{\text{検出故障数}}{\text{全故障数}} \times 100 [\%] \quad \cdots (14)$$

なお、式(14)において、全故障数は遅延故障定義情報2で定義された全定義故障から、操作32において信号経路の設計上の遅延値が所定の遅延値Dminよりも小さい信号経路上の故障を除外した数であり、また、検出故障数は全故障のうち検査系列生成操作33において検査系列生成に成功した故障の数である。

【0046】

図5は、半導体集積回路上に定義した遅延故障の特性を示すための図である。遅延故障a₁～a₆の右側に示した矢印の長さは、それぞれ各遅延故障が定義された信号経路の設計上の遅延値の大きさを示し、各矢印の上に添えられた9 n sなどの数値はその具体的な遅延値を示す。また、図の右側の点線は半導体集積回路の1クロックレートの値を表す。

【0047】

以下、図1、図3、図5を用いて本実施の形態を説明する。

【0048】

まず、与えられた論理回路データ1と遅延故障定義情報2を用いて遅延故障検査系列生成操作3を実行する。遅延故障定義情報2には、図5に示す遅延故障a₁～a₆が含まれているものとする。遅延故障検査系列生成操作3では、最初に操作31で所定の遅延値Dminの設定を行う。所定の遅延値Dminの値はクロックレートの値より十分に小さい値を設定する。今、クロックレートの値が10 n sであり、これに対して所定の遅延値Dminの値を3 n sと定めたとする。次に、操作32では、全定義故障である遅延故障a₁～a₆のうち、遅延故障a₆が定義された信号経路の設計上の遅延値は2 n sであって所定の遅延値Dminよりも小さいため、この遅延故障a₆は除外される。その結果、処理の対象となる全故障は遅延故障a₁～a₅となる。引き続いて操作33では、遅延故障a₁～a₅に対して検査系列生成操作が行われ、その結果、遅延故障a₄およびa₅のみが検査系列生成に成功（すなわち検出）したとする。この結果から操作34では検出故障数は

2個と集計され、最後に操作35において、故障検出率が $(2/5) \times 100 = 40\%$ と算出される。最後に、故障検出率5のデータと生成された遅延故障検査系列4のデータが出力される。

【0049】

次に、遅延故障シミュレーション処理における、与えられた遅延故障検査系列に対する品質評価方法の実施例を説明する。

【0050】

図2は本発明の第1の実施の形態の遅延故障シミュレーション方法を示すフローチャートである。6は遅延故障シミュレーション操作を示し、それ以外の図1と一致する符号は図1と同一のものを示す。

【0051】

図4は遅延故障シミュレーション操作6の詳細を示すフローチャートである。図4では、図3の検査系列生成操作33の代りに故障シミュレーション実行操作36が行われ、その他の操作は図3と同一である。

【0052】

以下、図2、図4、図5を用いて本実施の形態における2番目の実施例を説明する。

【0053】

まず、与えられた論理回路データ1、遅延故障定義情報2、および遅延故障検査系列4を用いて遅延故障シミュレーション操作6を実行する。遅延故障定義情報2には、図5に示す遅延故障a₁～a₆が含まれているものとする。遅延故障シミュレーション操作6では、最初に操作31で所定の遅延値D_{min}の設定を行う。所定の遅延値D_{min}の値は最初の実施例と同様に3nsと定めたとする。次に、操作32では、全定義故障である遅延故障a₁～a₆のうち、遅延故障a₆が定義された信号経路の設計上の遅延値は2nsであって所定の遅延値D_{min}よりも小さいため、この遅延故障a₆は除外される。その結果、処理の対象となる全故障は遅延故障a₁～a₅となる。引き続いて操作36では、遅延故障a₁～a₅に対して遅延故障検査系列4を用いた故障シミュレーションが実行され、その結果、遅延故障a₄およびa₅のみが検出されたとする。この結果から操作34では検出

故障数は2個と集計され、最後に操作35において、故障検出率が $(2/5) \times 100 = 40\%$ と算出される。最後に故障検出率5のデータが出力される。

【0054】

次に、本発明と従来技術との比較を行う。

【0055】

図11は本発明の図2に相当する部分の、従来技術による遅延故障検査系列生成処理において生成された遅延故障検査系列に対する品質評価方法のフローチャートを示す。図中の図2と一致する符号は図2と同一のものを示す。

【0056】

以下、図1、図5、図11を用いて従来技術の動作を説明すると、従来技術では遅延故障定義情報2で与えられた故障はすべて検査系列生成の対象となるため、検査系列生成操作33では、遅延故障a₁～a₆に対して検査系列生成が実行される。ここで、検査系列生成の結果、遅延故障a₄～a₆について検査系列生成に成功（すなわち検出）したとする。この結果から操作34では検出故障数は3個と集計され、操作35において故障検出率が $(3/6) \times 100 = 50\%$ と算出される。

【0057】

従来技術で故障検出率を算出した場合、遅延故障a₁も遅延故障a₆も全く同等に扱われており、実際に遅延故障を生じる可能性が小さい遅延故障a₄～a₆のみが検出されて、遅延故障を生じる可能性が大きい遅延故障a₁～a₃が未検出であるにもかかわらず、各遅延故障ごとの遅延故障を生じる可能性が全く考慮されていないために、高い故障検出率となっている。

【0058】

しかし本実施の形態では、実際に遅延故障を生じる可能性が小さい遅延故障a₆を排除して検査対象外として除外するため、遅延故障を生じる可能性の大小が故障検出率に反映されて、従来技術よりも低い故障検出率となっており、遅延故障検査系列の品質をより高精度に評価することができる。

【0059】

（第2の実施の形態）

本実施の形態は、遅延故障を定義した信号経路上の設計上の遅延値を用いて、遅延故障検査系列の品質評価を行うことによって、遅延故障検査系列の品質評価の精度を向上させる具体的な実施方法についてのものである。

【0060】

図6は、本発明による図1における遅延故障検査系列生成操作3の詳細を示す、図2とは別の遅延故障検査系列の品質評価方法を示すフローチャートである。図中の図2と一致する符号は図2と同じものを示し、また、37は故障検出率を以下の式で算出する操作を示す。

【0061】

【数15】

$$\text{故障検出率} = \frac{\text{各検出故障の重みの総和}}{\text{全定義故障の重みの総和}} \times 100 [\%] \cdots (15)$$

図7は信号経路上の配線面積とゲート面積（素子面積）の算出方法を説明するための半導体集積回路のレイアウト図である。51, 52はフリップフロップ、53～55は論理ゲート（AND論理）、56～59は配線を示す。

【0062】

図8は遅延故障a1～a6が定義された信号経路のそれぞれにおける信号経路上の配線面積とゲート面積の合計面積値を示す。遅延故障a1～a6の右側に示した矢印の長さは、それぞれ各遅延故障が定義された信号経路の面積の合計値の大きさを示し、各矢印の上に添えられた $800 \mu m^2$ などはその具体的な値を示す。

【0063】

図9は遅延故障a1～a6が定義された信号経路のそれぞれにおける信号経路上の総配線長を示す。遅延故障a1～a6の右側に示した矢印の長さは、それぞれ各遅延故障が定義された信号経路の総配線長の大きさを示し、各矢印の上に添えられた $500 \mu m$ などはその具体的な値を示す。

【0064】

以下、図1、図3、図5、図7、図8、図9を用いて本実施の形態を説明する。

【0065】

図1における遅延故障検査系列の品質評価方法全体の操作は、実施の形態1と同一であるので説明を省略し、遅延故障検査系列生成操作3の詳細部分のみの説明を行う。

【0066】

遅延故障定義情報2で与えられた故障はすべて検査系列生成の対象となるため、検査系列生成操作3.3では、遅延故障 $a_1 \sim a_6$ に対して検査系列生成が実行され、その結果、遅延故障 $a_4 \sim a_6$ について検査系列生成に成功（すなわち検出）したとする。次に、操作3.7では、全定義故障である遅延故障 $a_1 \sim a_6$ の重みの総和と、検査系列生成操作3.3で検出された遅延故障 $a_4 \sim a_6$ の重みの総和をそれぞれ計算し、式(15)を使って故障検出率を算出する。

【0067】

重みの具体例として、図5に示したように各遅延故障が定義された信号経路の設計上の遅延値を用いた場合の説明を行う。例えば遅延故障 a_1 の重みは、この故障が定義される信号経路の設計上の遅延値が9 n sであるので、9という数値を重みとして用いる。この場合、操作3.7で計算される全定義故障の重みの総和は $(9 + 8 + 9 + 5 + 7 + 2) = 40$ であり、検査系列生成操作3.3で検出された遅延故障 $a_4 \sim a_6$ の重みの総和は $(5 + 7 + 2) = 14$ である。したがって、故障検出率は式(15)から、 $(14 / 40) \times 100 = 35\%$ と算出される。

【0068】

本実施の形態では、検出された遅延故障は設計上の遅延値の小さいものが多いため、実施の形態1と同様に従来技術で算出した故障検出率50%よりも小さい値となっており、より精度の高い遅延故障検査系列の品質評価方法が実現できていることがわかる。また、実施の形態1のように遅延故障 a_6 のような設計上の遅延値の小さな信号経路上の故障を無視することなく、各遅延故障が定義された信号経路の遅延値を故障検出率に反映することができるため、実施の形態1よりも精度の高い遅延故障検査系列の品質評価方法が実現できる。

【0069】

次に、重みの別の具体例として、各遅延故障が定義された信号経路の設計上の

遅延値と、その信号経路上に欠陥が生じる確率を考慮した、以下の式（16）で表される重みを使用した場合について説明を行う。

【0070】

【数16】

$$\text{重み} = \text{信号経路の設計上の遅延値} \times \text{欠陥発生確率} \times \text{係数} \cdots (16)$$

欠陥発生確率×係数は、故障発生頻度とみなすことができる。

また、欠陥発生確率はさらに以下の式（17）で表されるものとする。

【0071】

【数17】

$$\text{欠陥発生確率} = \text{欠陥密度} \times (\text{配線面積} + \text{ゲート面積}) \cdots (17)$$

信号経路上の（配線面積+ゲート面積）は、図7を例に取ると、フリップフロップ51, 52間の信号経路上の配線56～59の総面積と、ゲート53～55の総面積の和で算出することができる。このようにして算出した遅延故障a₁～a₆が定義された信号経路上の（配線面積+ゲート面積）の値を図8に示している。

【0072】

式（16）の係数の値は本実施例では1とし、また、式（17）における欠陥密度は、工場での歩留り解析などから統計的に算出されるものとし、ここではその値を α と表記する。 α の値が半導体集積回路上で一定と仮定した場合は、式（15）～（17）から、故障検出率は以下の式（18）で算出される。

【0073】

【数18】

$$\text{故障検出率} = \frac{\text{検出故障の} \{ \text{遅延値} \times (\text{配線面積} + \text{ゲート面積}) \} \text{ の総和}}{\text{全定義故障の} \{ \text{遅延値} \times (\text{配線面積} + \text{ゲート面積}) \} \text{ の総和}} \times 100 [\%] \cdots (18)$$

ここでは、例えば遅延故障 a_1 の重みは、図5よりこの故障が定義される信号経路の設計上の遅延値 9 n s と、また、図8より信号経路上の（配線面積+ゲート面積）の値 $1000 \mu\text{m}^2$ を用いて、 $9 \times 1000 = 9000$ として計算される。したがって、操作37で計算される全定義故障の重みの総和は $(9 \times 1000 + 8 \times 600 + 9 \times 800 + 5 \times 500 + 7 \times 600 + 2 \times 100) = 27900$ であり、検査系列生成操作33で検出された遅延故障 $a_4 \sim a_6$ の重みの総和は $(5 \times 500 + 7 \times 600 + 2 \times 100) = 6900$ である。したがって、故障検出率は式(18)から、 $6900 / 27900 \times 100 = 24.7\%$ と算出される。

【0074】

この例では、検出された遅延故障は設計上の遅延値の小さいものが多いため、実施の形態1と同様に従来技術で算出した故障検出率50%よりも小さい値となっており、より精度の高い遅延故障検査系列の品質評価方法が実現できていることがわかる。また、実施の形態1のように遅延故障 a_6 のような設計上の遅延値の小さな信号経路上の故障を無視することなく、各遅延故障が定義された信号経路の遅延値を故障検出率に反映することができるため、実施の形態1よりも精度の高い遅延故障検査系列の品質評価方法が実現できる。

【0075】

次に、重みのさらに別の具体例として、式(17)における（配線面積+ゲート面積）の代りに、もっと単純な値である総配線長を用いることによって、以下の式(19)で表される重みを使用した場合について説明を行う。

【0076】

【数19】

$$\text{欠陥発生確率} = \text{欠陥密度} \times \text{信号経路上の総配線長} \quad \cdots (19)$$

式(19)における総配線長は、図7における配線56～59の長さの和で算出することができ、このようにして算出した遅延故障a₁～a₆が定義された信号経路上の総配線長の値を図9に示している。

【0077】

また、式(17)を式(19)に置き換えることによって、欠陥密度 α の値が半導体集積回路上で一定と仮定した場合は、式(18)も以下の式(20)に置き換えられる。

【0078】

【数20】

$$\text{故障検出率} = \frac{\text{検出故障の(遅延値} \times \text{総配線長}) \text{の総和}}{\text{全定義故障の(遅延値} \times \text{総配線長}) \text{の総和}} \times 100 [\%] \cdots (20)$$

ここでは、例えば遅延故障a₁の重みは、図5よりこの故障が定義される信号経路の設計上の遅延値9nsと、また、図9より信号経路上の総配線長の値8000μmを用いて、 $9 \times 8000 = 72000$ として計算される。したがって、操作37で計算される全定義故障の重みの総和は $(9 \times 8000 + 8 \times 5000 + 9 \times 6000 + 5 \times 3000 + 7 \times 5000 + 2 \times 2000) = 220000$ であり、検査系列生成操作33で検出された遅延故障a₄～a₆の重みの総和は $(5 \times 3000 + 7 \times 5000 + 2 \times 2000) = 54000$ である。したがって、故障検出率は式(20)から、 $54000 / 220000 \times 100 = 24.5\%$ と算出される。

【0079】

この例では、検出された遅延故障は設計上の遅延値の小さいものが多いため、

実施の形態1と同様に従来技術で算出した故障検出率50%よりも小さい値となっており、より精度の高い遅延故障検査系列の品質評価方法が実現できていることがわかる。また、実施の形態1のように遅延故障 a_6 のような設計上の遅延値の小さな信号経路上の故障を無視することなく、各遅延故障が定義された信号経路の遅延値を故障検出率に反映することができるため、実施の形態1よりも精度の高い遅延故障検査系列の品質評価方法が実現できる。さらには、この例では式(20)を用いることによって、式(18)を用いた場合よりも計算量を小さくすることができる。

【0080】

なお、本実施の形態で説明した図1の代りに図2を用いて、また、検査系列生成操作33の代りに故障シミュレーション実行操作36を用いても、同様の効果が実現できることは明らかである。

【0081】

また、式(17)および式(18)において、(配線面積+ゲート面積)の代りに単に配線面積のみを使用しても、ほぼ同様の効果が実現できる。

【0082】

さらに、本実施の形態で用いた信号経路の設計上の遅延値の代わりに、遅延値の簡略的な表現方法として、信号経路のゲート段数を用いても、ほぼ同様の効果が得られる。

【0083】

(第3の実施の形態)

図10は本発明の第3の実施の形態の故障検査方法を示すフローチャートである。図中の3～6の操作は図1および図2の一致する符号と同じものを示し、101は遅延故障検出率が検査の要求を満たす値かどうかの判定、102は故障検査を示す。

【0084】

以下、図3、図4、図6、図10を用いて本実施の形態を説明する。

【0085】

最初に遅延故障検査系列生成操作3において検査に用いるための遅延故障検査

系列4を生成し、次に、遅延故障シミュレーション操作6において遅延故障検査系列4の故障検出率5を算出する。遅延故障シミュレーション操作6では、より詳細には第1の実施の形態または第2の実施の形態で説明した方法（図3または図6の操作33を操作36に置き換えたものを使用）を用いることによって、故障検出率を算出する。次に、操作101では、遅延故障シミュレーション操作6から出力された故障検出率5を用いて、故障検出率が検査に求められる値に達しているか否かを判定し、もし結果が肯定的（Yes）であれば故障検査102の操作へ移り、否定的（No）であれば、もう一度、遅延故障検査系列生成操作3からやり直すなどして、再度、故障検出率のより高い遅延故障検査系列を生成する操作を行う。

【0086】

従来技術による故障検出率算出を用いた場合は、たとえ高い遅延故障検出率が算出されていても、その数値だけからは遅延故障検査系列の品質が十分高いかどうかが判定できないため、補完するための検査系列または検査手法の検討を行う必要が生じ、故障検査にかかる工数の増大と故障検査の品質の不安定さをもたらす原因となるが、本発明による遅延故障検査系列の品質評価方法を用いた場合は、算出された遅延故障検出率が遅延故障検査系列の品質を精度良く表しているため、故障検査操作に入ってよいかどうかを容易に判断することができ、故障検査にかかる工数を小さくすることができ、また、故障検査の品質を安定して高レベルにすることができる。

【0087】

【発明の効果】

以上詳述したように、本発明によれば、各遅延故障が定義された信号経路上の設計上の遅延値を考慮することによって、個々の遅延故障の重要度を遅延故障検査系列の品質評価に反映させることができるために、遅延故障検査系列の品質評価の精度を高めることができる。さらに述べると、実際に故障を発生する可能性が大きい遅延故障ほど故障検出率への影響度合いを大きくすることができる。すなわち、そのような故障が検出された場合には故障検出率向上の度合いが大きく、逆に検出されない場合の故障検出率低下の度合いも大きくすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施の形態の遅延故障検査系列生成方法を示すフローチャート

【図2】 本発明の第1の実施の形態の遅延故障シミュレーション方法を示すフローチャート

【図3】 本発明の第1の実施の形態での図1のフローチャートの遅延故障検査系列生成操作を詳細に説明するフローチャート

【図4】 本発明の第1の実施の形態での図2のフローチャートの遅延故障シミュレーション操作を詳細に説明するフローチャート

【図5】 本発明の第1の実施の形態における半導体集積回路上に定義した遅延故障の特性を示す図

【図6】 本発明の第2の実施の形態での図1のフローチャートの遅延故障検査系列生成操作を詳細に説明するフローチャート

【図7】 本発明の第2の実施の形態における信号経路上の配線面積とゲート面積の算出方法を説明するための半導体集積回路のレイアウト図

【図8】 本発明の実施の形態2における遅延故障が定義された信号経路のそれぞれにおける信号経路上の配線面積とゲート面積の合計面積値を示す図

【図9】 本発明の実施の形態2における遅延故障が定義された信号経路のそれぞれにおける信号経路上の総配線長を示す図

【図10】 本発明の第3の実施の形態の故障検査方法を示すフローチャート

【図11】 従来技術における遅延故障検査系列生成方法を説明するフローチャート

【図12】 従来技術における半導体集積回路上に定義した遅延故障の特性を示す図

【符号の説明】

3 1 所定の遅延値Dminを設定する操作

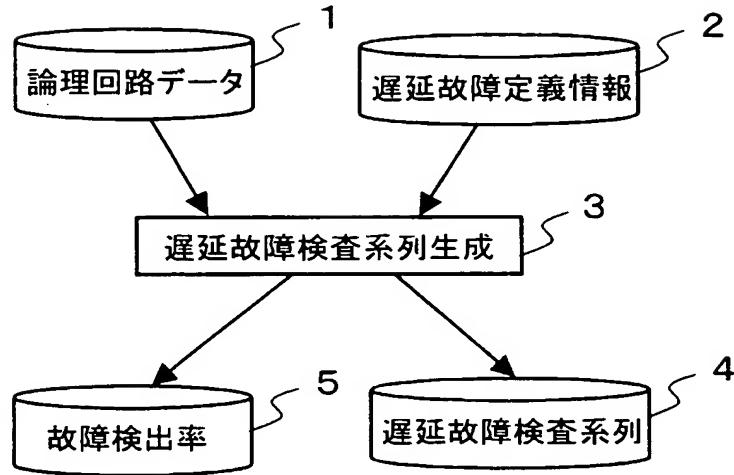
3 2 全定義故障のうち所定の遅延値Dminよりも遅延値が小さい故障を処理対象から除外する操作

3 5 操作3 2で処理済みの対象故障に対して故障検出率を計算する操作

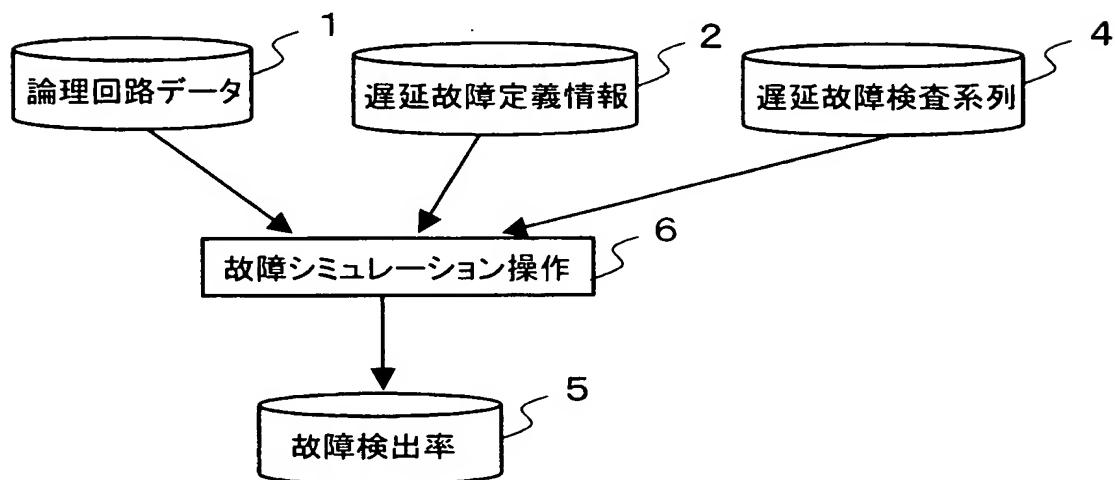
37 各定義故障について重みを加えて故障検出率を計算する操作

【書類名】 図面

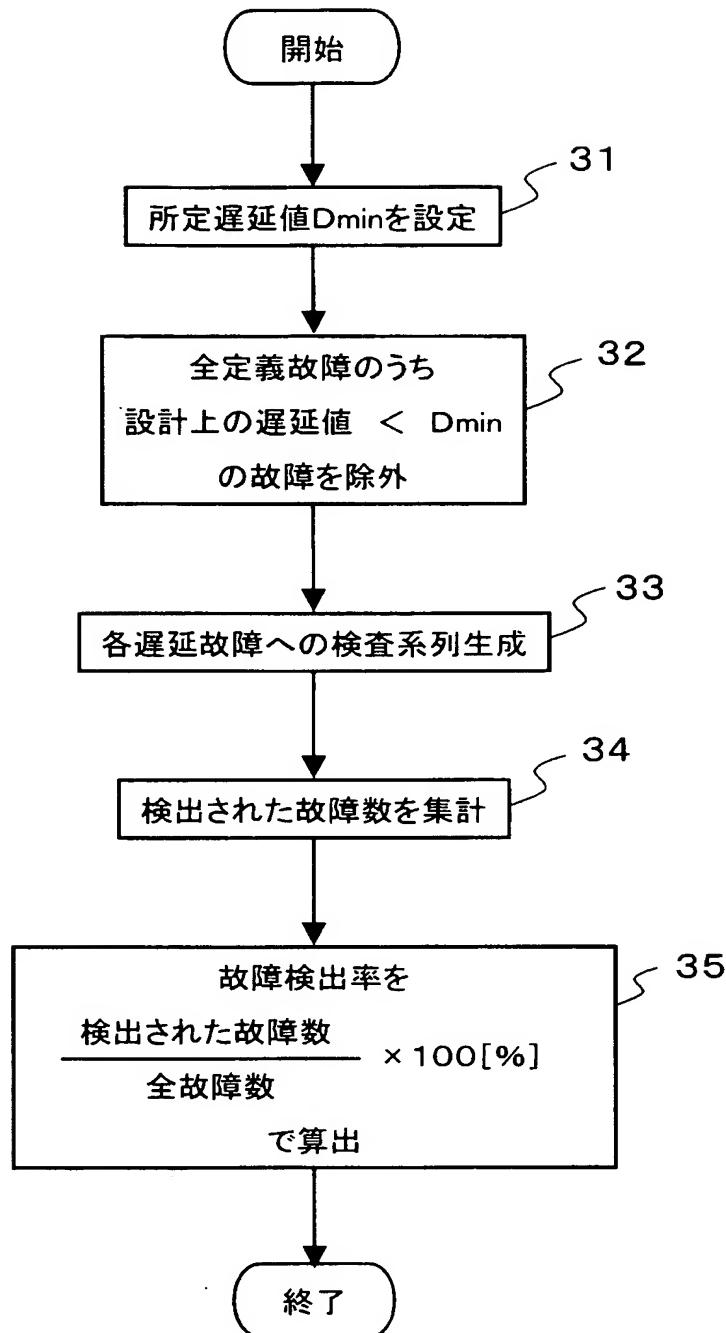
【図 1】



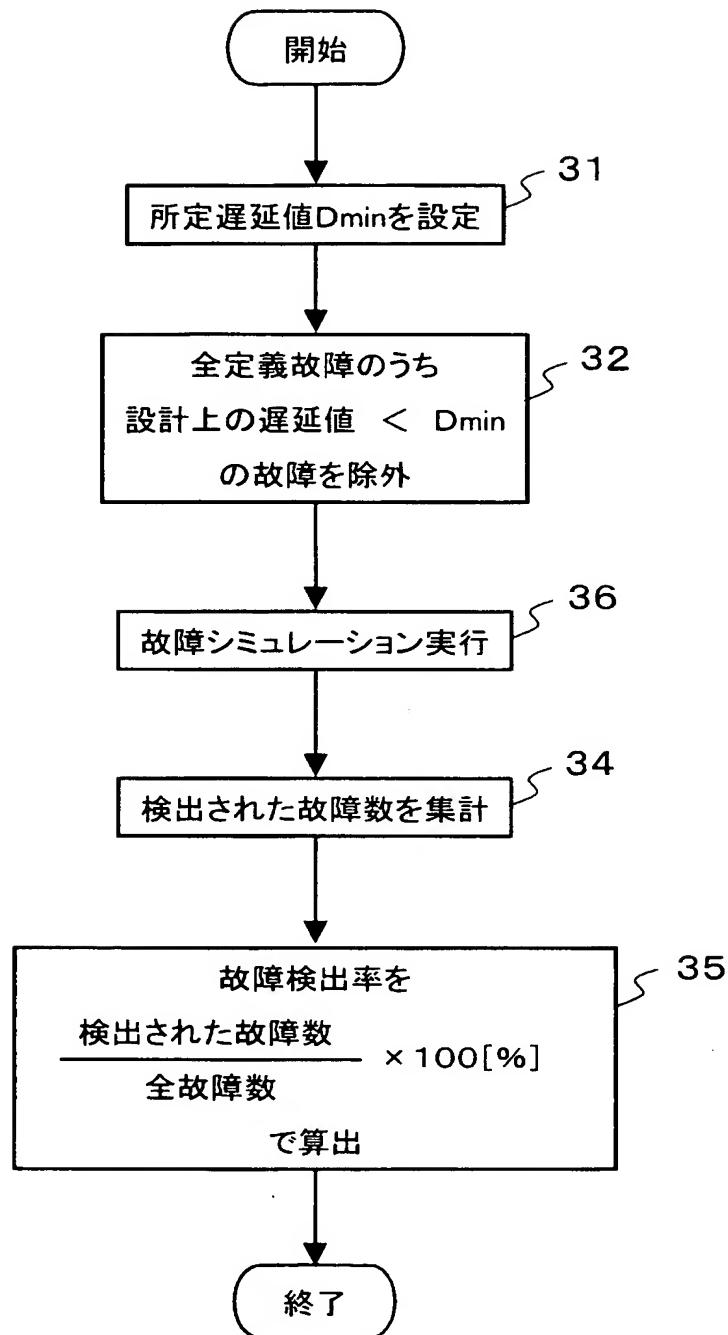
【図 2】



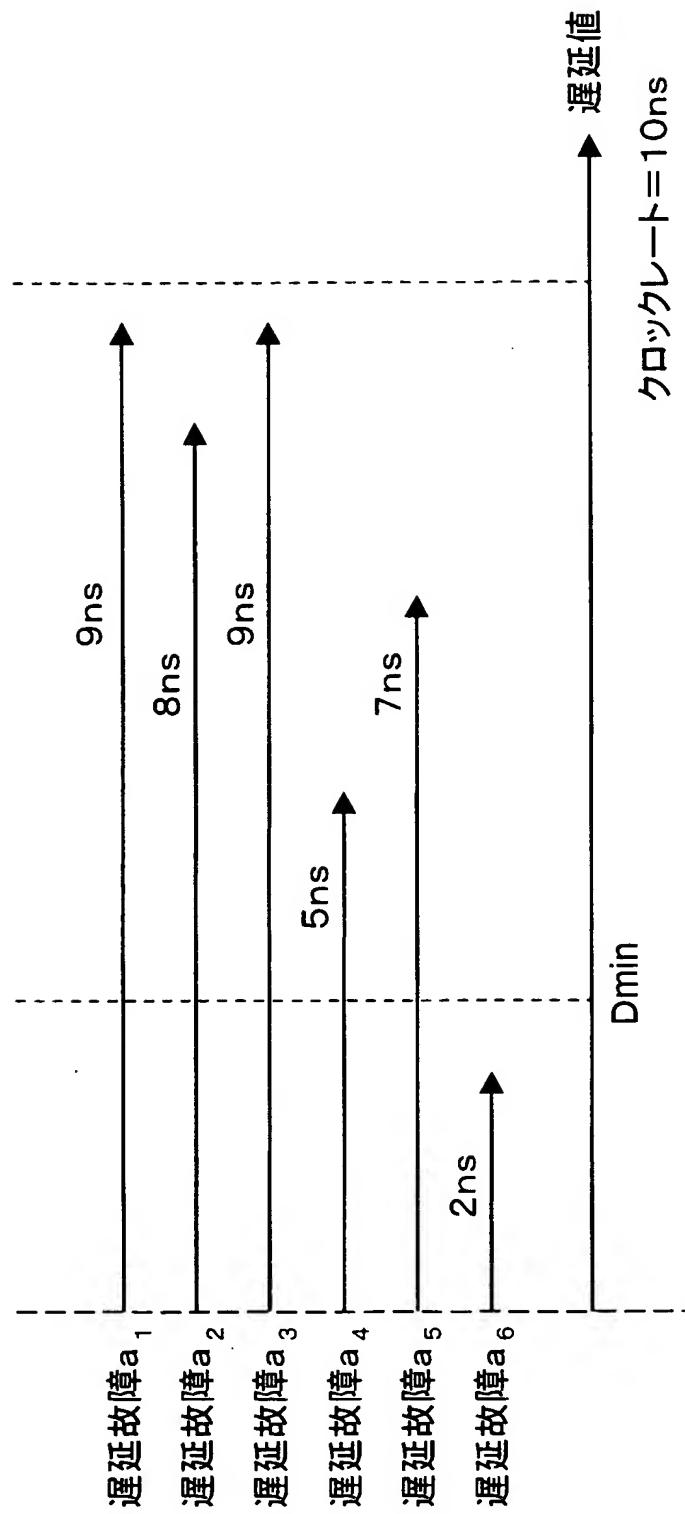
【図3】



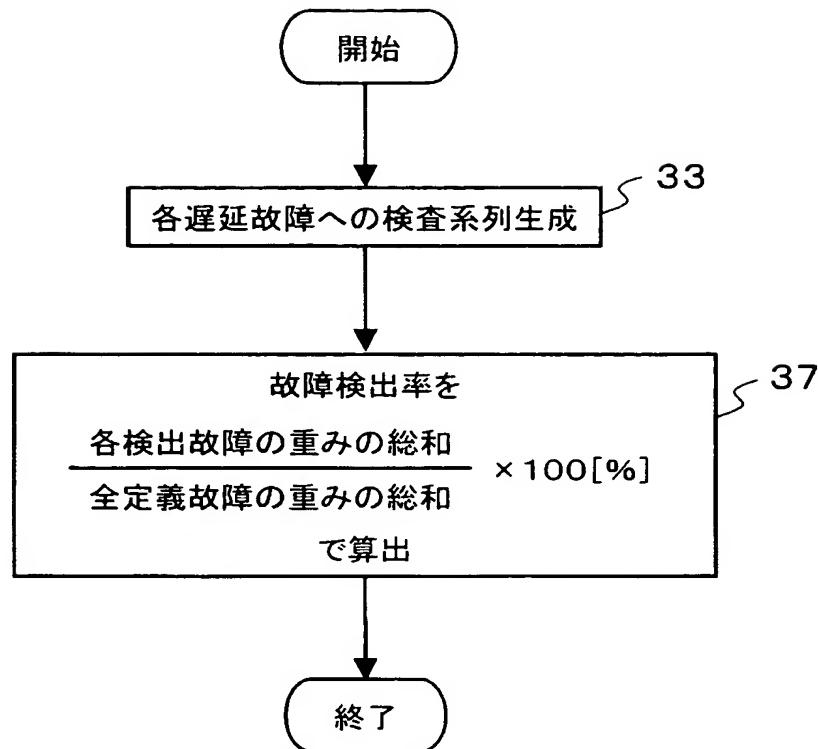
【図4】



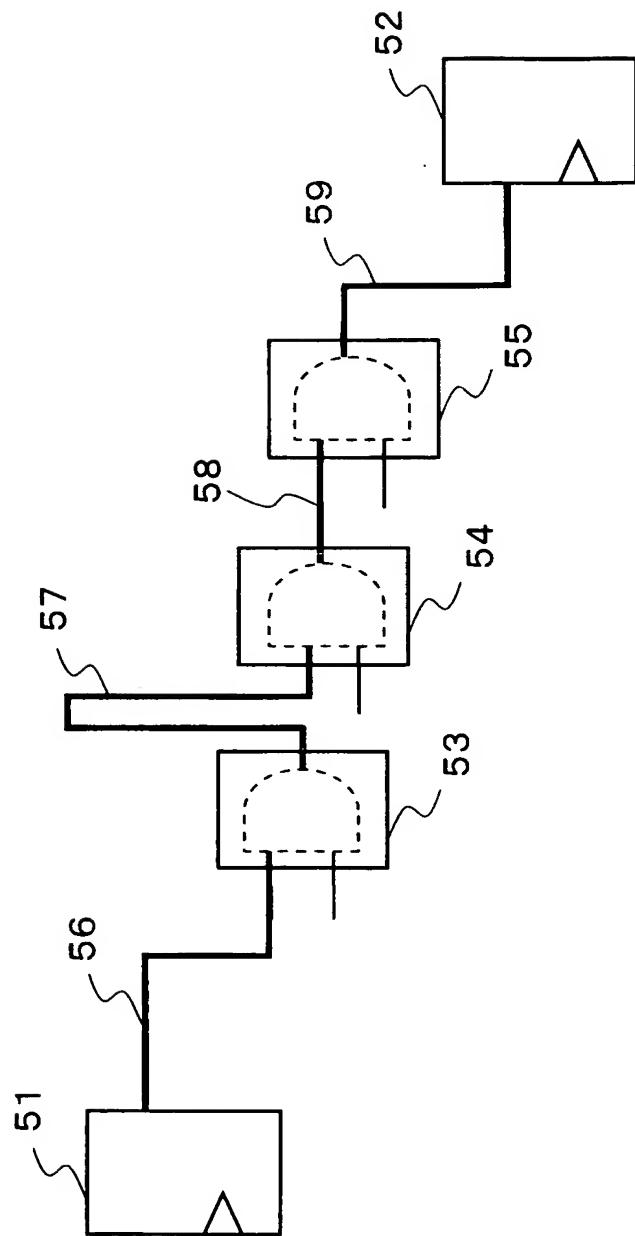
【図5】



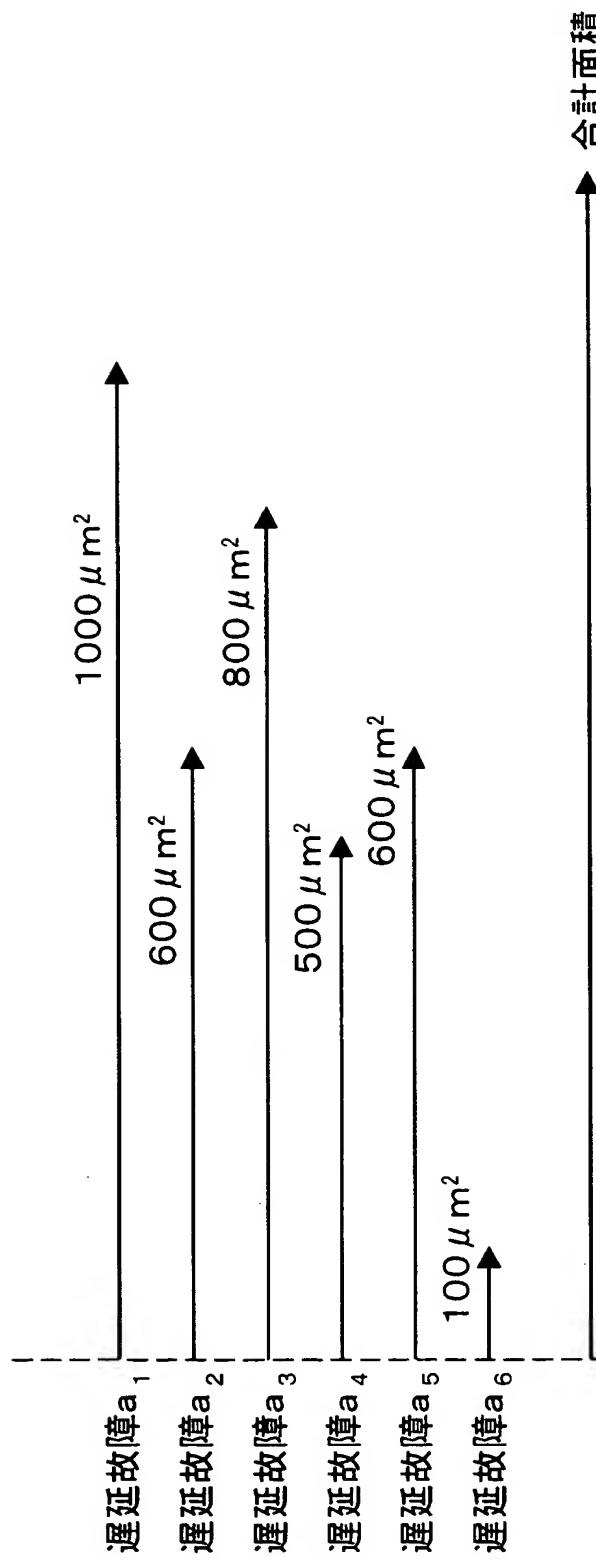
【図6】



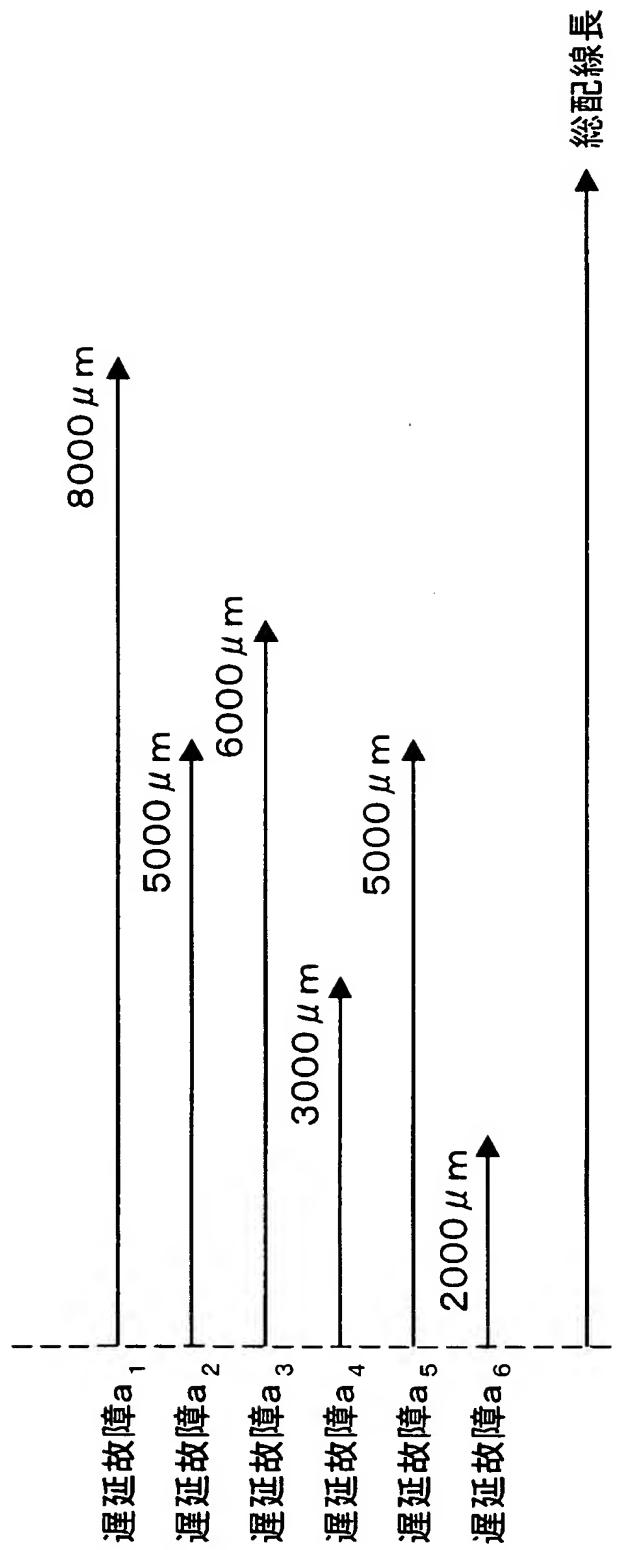
【図7】



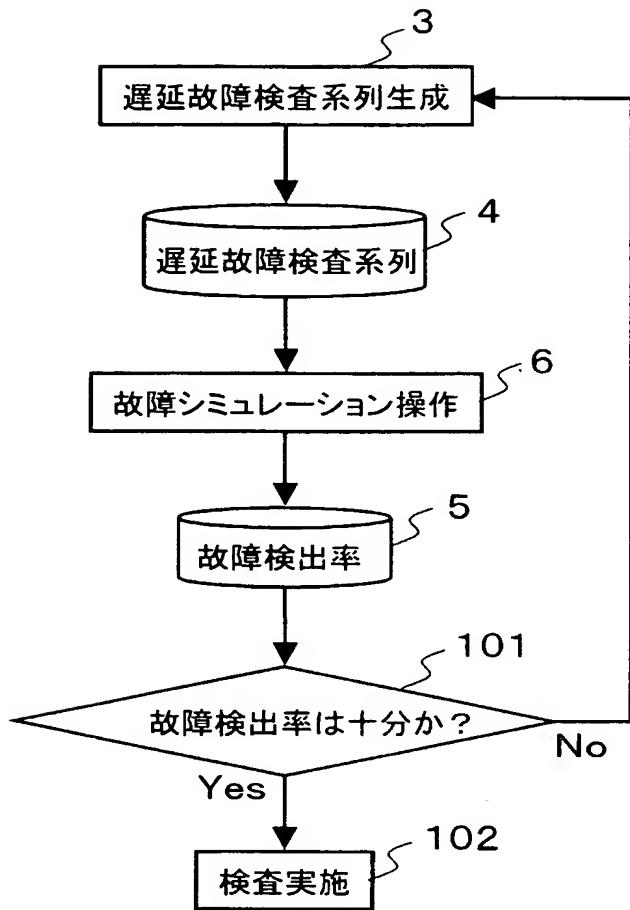
【図8】



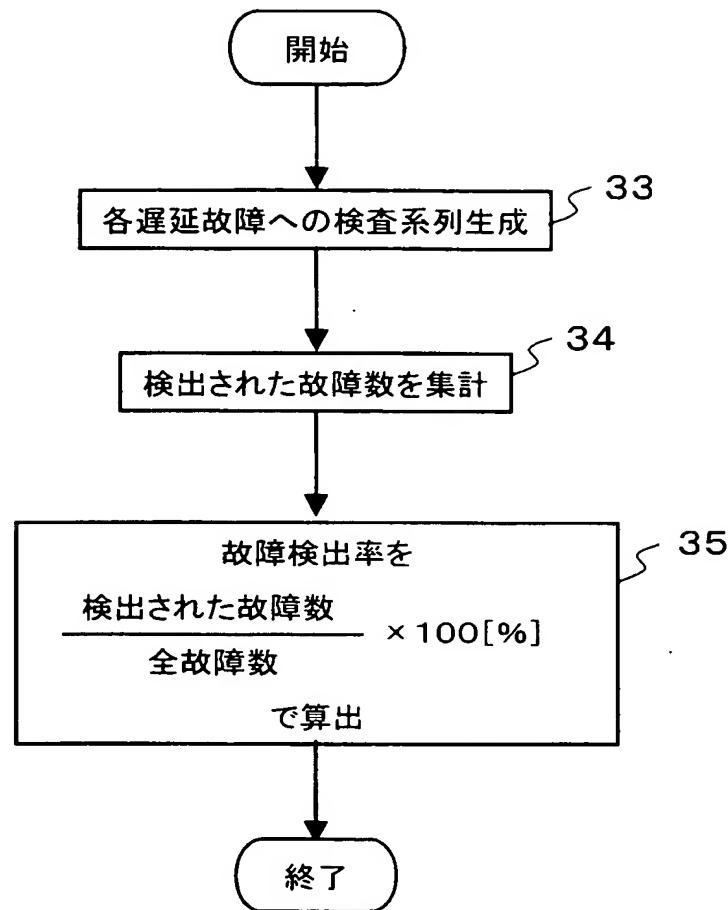
【図9】



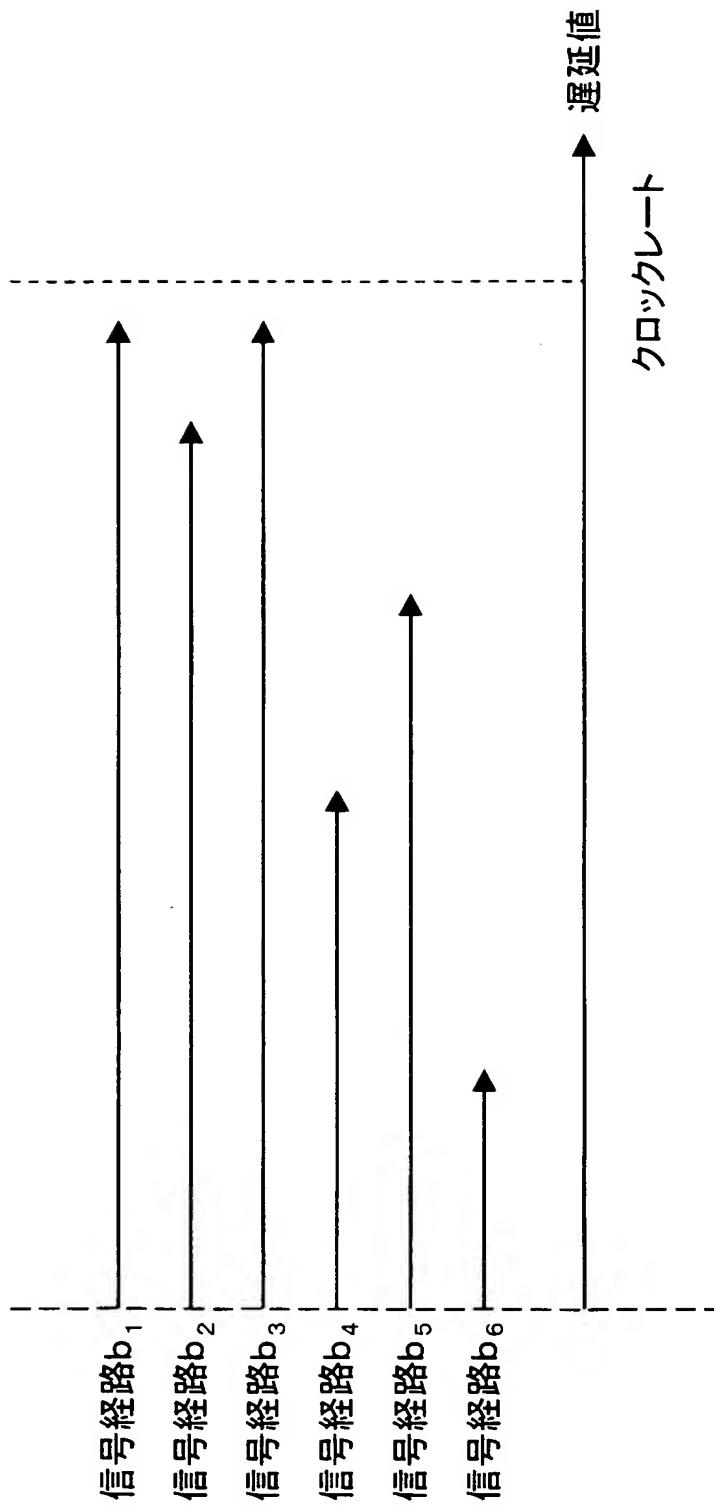
【図10】



【図11】



【図12】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 遅延故障用の検査系列の品質を評価する際に、すべての遅延故障の価値を同一として扱っているため、検出する価値の高い故障、または検出する価値の低い故障の検出状況が検査系列の品質評価結果に反映されていなかった。

【解決手段】 遅延故障用の検査系列の品質を評価する際に、各遅延故障について、その遅延故障を定義した信号経路上の設計上の遅延値を重み付けすることによって、遅延故障検査系列の品質をより高精度に評価することができる遅延故障検査系列の品質評価方法を提供する。

【選択図】 図 6

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2003-018428
受付番号	50300130361
書類名	特許願
担当官	第一担当上席 0090
作成日	平成15年 1月29日

<認定情報・付加情報>

【提出日】	平成15年 1月28日
-------	-------------

次頁無

特願 2003-018428

出願人履歴情報

識別番号 [000005821]

1. 変更年月日 1990年 8月28日

[変更理由] 新規登録

住 所 大阪府門真市大字門真1006番地
氏 名 松下電器産業株式会社